

Evaluasi Tingkat Keandalan Jaringan Distribusi 20 kV Pada Gardu Induk Bangkinang Dengan Menggunakan Metode FMEA (*Failure Mode Effect Analysis*)

Rahmad Santoso, Nurhalim

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
Email: rahmadsantoso94@ymail.com

ABSTRACT

Reability evaluation has purposed to find out the level of reliability in distribution system. This research conducted at 20 kV radial distribution system in Bangkinang Substation with FMEA (Failure Mode Effect Analysis). The reability calculation will be compared to PT PLN Standart procedure and its target to be WCS (World Class Service). The reability index are used SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) and SAIDI (System Average Interruption Duration Index). The method is gathering the data, data proccessing, and analysis. The SAIFI of four feeders in Bangkinang Substation has not reached the PLN standart 68-2 : 1986 which is 3,2 times/years/costumer. For SAIDI that already reached the requirement is 21 hours/years/costumer only Candika Feeder, Pahlawan, and Salo. While, PT PLN Target to get WCS (World Class Service) with 1.2 times/years/costumer for SAIFI and 0.83 hour/years/costumer for SAIDI, all of the feeder in Bangkinang substation still far from the target.

Key words : distribution system, reability, FMEA, SAIFI, SAIDI

I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan kebutuhan yang sangat penting bagi aktivitas manusia. Kegiatan penyediaan energi listrik terdiri atas pembangkitan, transmisi dan distribusi. Untuk menjamin kontinuitas penyediaan energi listrik tersebut maka diperlukan tingkat keandalan yang baik. Dari ketiga bagian tersebut, sistem distribusi merupakan bagian yang paling dekat dengan beban sehingga gangguan pada bagian ini akan langsung berdampak pada beban.

Tingkat keandalan ini dipengaruhi oleh gangguan yang terjadi. Gangguan ini biasanya disebabkan oleh kondisi alam dan hewan di sekitar saluran distribusi energi listrik. Semakin sering suatu jaringan distribusi mengalami gangguan maka kontinuitas

penyaluran energi listrik juga akan semakin buruk. Adapun indeks yang menunjukkan tingkat keandalan dari suatu sistem distribusi diantaranya adalah SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) dan SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*).

Banyak metode yang sudah pernah digunakan dalam menganalisa keandalan jaringan distribusi. Masing-masing metode memiliki kelebihan dan kekurangan sehingga belum tentu penggunaan suatu metode lebih baik dari metode yang lain. Adapun metode perhitungan keandalan ini salah satunya adalah FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) dimana metode ini menghitung keandalan sistem berdasarkan efek kegagalan yang dialami oleh sistem itu sendiri dan bagaimana pengaruhnya terhadap titik beban (*load point*).

Efek atau konsekuensi dari gangguan individual peralatan secara sistematis diidentifikasi dengan penganalisaan apa yang terjadi ketika adanya gangguan.

Cholish dan Syukriadin (2013) melakukan analisa terhadap masalah jumlah kegagalan dan lama durasi kegagalan yang terjadi pada jaringan distribusi dengan metode FMEA. Indeks keandalan yang digunakan adalah SAIFI, SAIDI dan CAIDI yang akan dibandingkan dengan indeks keandalan yang ditargetkan oleh PT. PLN Cabang Medan.

Wicaksono, dkk (2012) melakukan penelitian dengan metode *Section Technique* untuk menghitung keandalan sistem distribusi 20 kV. Indeks keandalan yang dihitung adalah SAIDI, SAIFI dan CAIDI (*Customer Average Interruption Duration Index*). Metode *section technique* ini membagi sistem berdasarkan lokasi *sectionalizer* dan setiap *section* terdiri atas beberapa *load point*.

Prima (2015) yang berjudul “Analisa Tingkat Keandalan Sistem Gardu Induk 13,8 kV 6DN Minas PT Chevron Pacific Indonesia dengan Metode *Section Technique*”. Pada penelitian ini dihitung tingkat keandalan baik dari sisi *feeder* maupun gardu induk. Indeks keandalan yang dihitung adalah SAIFI dan SAIDI. Setelah dilakukan perhitungan, nilai SAIFI dan SAIDI ini dibandingkan dengan standar nasional maupun internasional.

Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Goenandi, dkk (2012) menggunakan dua metode sekaligus untuk menganalisis sistem distribusi 20 kV. Metode yang digunakan dalam analisa adalah metode *Section Technique* dan FMEA (*Failure Mode Effect Analysis*). Berdasarkan hasil analisis, nilai SAIFI dan SAIDI pada kedua metode ini memiliki nilai yang hampir sama.

II. METODE PENELITIAN

Adapun metode yang digunakan untuk menganalisis tingkat keandalan jaringan distribusi ini adalah metode FMEA (*Failure Mode Effect Analysis*).

Beberapa paramater keandalan yang digunakan antara lain:

1. Average failure rate (λ_s)

Average failure rate merupakan frekuensi atau jumlah kegagalan setiap komponen yang berpengaruh pada *load point*.

$$\lambda_s = \sum \lambda_i \quad (1)$$

Dimana :

λ_i = Laju kegagalan pada *load point* i

2. Average annual outage time (U_s)

Average annual outage time merupakan durasi atau lama pemadaman yang terjadi pada setiap komponen yang berpengaruh pada *load point*.

$$U_s = \sum \lambda_i r_i \quad (2)$$

Dimana :

λ_i = Laju kegagalan pada *load point* i

r_i = Waktu perbaikan atau *Switching*

3. SAIFI

System Average Interruption Frequency Index (SAIFI) merupakan indeks yang digunakan untuk menilai tingkat keandalan listrik dimana indeks ini menghitung rata – rata jumlah pemadaman yang dirasakan perpelanggan dalam selang waktu tertentu.

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_i N_i}{\sum N} \quad (3)$$

Dimana :

N_i = jumlah kosumen pada *load point*

λ_i = frekuensi gangguan peralatan pada

N = jumlah total konsumen pada satu *feeder*

4. SAIDI

System Average Interruption Duration Index (SAIDI) merupakan indeks yang digunakan untuk menilai tingkat keandalan listrik dimana indeks ini menghitung rata – rata durasi pemadaman yang dirasakan perpelanggan dalam selang waktu tertentu.

$$SAIDI = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N} \quad (4)$$

Dimana :

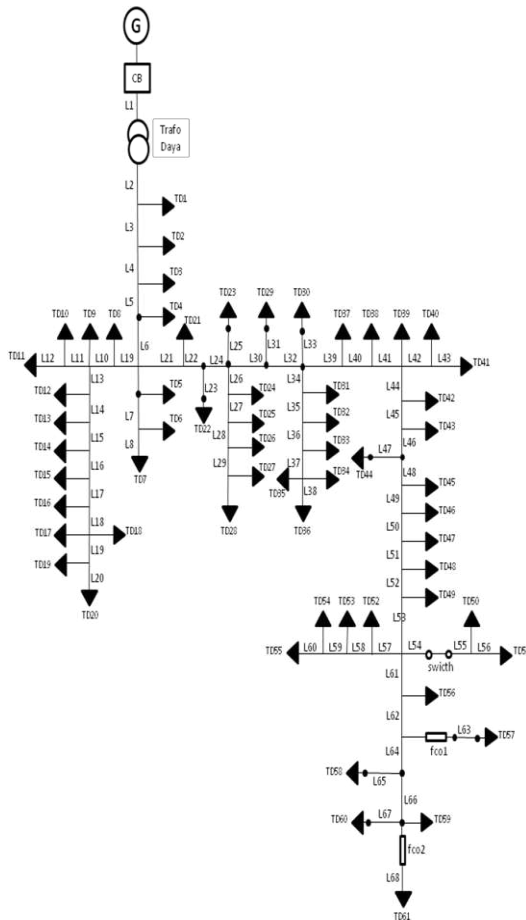
N_i = jumlah kosumen pada *load point*

U_i = durasi gangguan peralatan pada *load point*

N = jumlah konsumen pada *feeder*

Langkah-langkah penelitian antara lain: pengumpulan data, menentukan efek kegagalan setiap peralatan, penjumlahan laju kegagalan, dan menghitung indeks keandalan SAIFI dan SAIDI.

Untuk menganalisis indeks keandalan, maka perlu diketahui terlebih dahulu *one line diagram* sistem distribusi yang akan dianalisis.



Gambar 1. *One line diagram* yang dianalisis

Dari *one line diagram* diatas, akan diidentifikasi masing-masing kegagalan peralatan yang terjadi. Setiap kegagalan peralatan akan berdampak pada sistem. Dengan metode FMEA ini mode kegagalan yang terjadi akan terlihat jelas dampaknya pada keseluruhan sistem karena tidak ada pembagian mode kegagalan berdasarkan *section* pada sistem tersebut.

Setelah proses identifikasi selesai, maka dilakukan perhitungan nilai λ dan U tiap *load point* dan terakhir menghitung indeks keandalan

SAIFI dan SAIDI. Semakin kecil nilai SAIFI dan SAIDI yang didapatkan, maka semakin baik tingkat keandalan pada jaringan sistem distribusi tersebut.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Evaluasi dilakukan untuk mengetahui apakah indeks keandalan jaringan sistem distribusi sudah memenuhi standar yang ditetapkan oleh PT.PLN sesuai dengan SPLN no 68-2 : 1986 [5] dengan nilai SAIFI = 3,2 kali/tahun/pelanggan dan SAIDI = 21 jam/tahun/pelanggan.

Perhitungan tingkat keandalan sistem distribusi sebagai berikut :

Tabel 1 Data panjang saluran

Saluran	Panjang (km)
CB	-
TDA	-
TD	-
Switch	-
FCO1	-
FCO2	-
L1	0,05
L2	0,7
L3	0,55
L4	0,2
L5	0,6
L6	0,35
L7	0,3
L8	0,2
L9	0,35
L10	0,1
L11	0,1
L12	0,3
L13	0,1
L14	0,7
L15	0,1

Tabel 2 Jumlah beban tiap *load point*

Peralatan	Jumlah Beban
TD1	73
TD2	80
TD3	108
TD4	129
TD5	180
TD6	137

TD7	102
TD8	107
TD9	61
TD10	33
TD11	72
TD12	95
TD13	76
TD14	7
TD15	7

Dari tabel diatas dapat dilihat jika panjang saluran distribusi tiap *line* berbeda-beda. Begitu juga jumlah pelanggan disetiap *load point* juga bervariasi.

Tabel 3 Indeks kegagalan saluran udara

Saluran Udara	
<i>Sustained failure rate</i>	0.2
<i>r (repaire time)</i>	3
<i>rs (switching time)</i>	0.15

Tabel 4 Indeks kegagalan peralatan

Komponen	λ	<i>r</i>	<i>rs</i>
Trafo Distribusi	0.005/unit/thn	10	0.15
<i>Circuit Breaker</i>	0.004/unit/thn	10	0.15
<i>Sectionalizer</i>	0.003/unit/thn	10	0.15

Indeks kegagalan peralatan ini mengacu pada SPLN N0.59 : 1985 yang dikeluarkan oleh PT.PLN sebagai data standar dalam perhitungan indeks tingkat keandalan jaringan distribusi. Indeks kegagalan ini meliputi data kegagalan saluran udara dan data kegagalan peralatan distribusi.

Tabel 5 Identifikasi mode kegagalan

Peralatan	Efek Kegagalan	Peralatan	Efek Kegagalan
CB	TD1 - TD61	TD1	TD1
TDA	TD1 - TD61	TD2	TD2

Switch	TD50 - TD51	TD3	TD3
FCO1	TD57	TD4	TD4
FCO2	TD61	TD5	TD5
L1	TD1 - TD61	TD6	TD6
L2	TD1 - TD61	TD7	TD7
L3	TD1 - TD61	TD8	TD8
L4	TD1 - TD61	TD9	TD9
L5	TD1 - TD61	TD10	TD10
L6	TD1 - TD61	TD11	TD11
L7	TD1 - TD61	TD12	TD12
L8	TD1 - TD61	TD13	TD13
L9	TD1 - TD61	TD14	TD14
L10	TD1 - TD61	TD15	TD15
L11	TD1 - TD61		
L12	TD1 - TD61		
L13	TD1 - TD61		
L14	TD1 - TD61		
L15	TD1 - TD61		

Pada tabel di atas dapat dilihat jika CB (*Circuit Breaker*) yang mengalami kegagalan kerja, maka seluruh peralatan TD (Trafo Distribusi) yang ada pada sistem tersebut akan mengalami kegagalan kerja. Jika kegagalan terjadi pada L1, maka yang mengalami kegagalan peralatan adalah seluruh sistem. Jika yang mengalami kegagalan adalah *Switch*, FCO1 dan FCO2 maka efek kegagalan yang ditimbulkan adalah hanya pada peralatan yang berada dalam ruang lingkup kerja peralatan *Switch* dan FCO saja. Begitu juga kegagalan terjadi pada trafo distribusi (TD) maka efek kegagalan yang terjadi hanya pada trafo itu sendiri.

Tabel 6 Perhitungan nilai λ dan U peralatan

Saluran	Panjang (km)	Failure Rate	λ	<i>r</i>	U
CB	-	0,004	0,004	10	0,04
TDA	-	0,005	0,005	10	0,05
TD	-	0,005	0,005	10	0,05
Switch	-	0,003	0,003	10	0,03
FCO1	-	0,003	0,003	10	0,03
FCO2	-	0,003	0,003	10	0,03
L1	0,05	0,2	0,01	3	0,03
L2	0,7	0,2	0,14	3	0,42
L3	0,55	0,2	0,11	3	0,33
L4	0,2	0,2	0,04	3	0,12
L5	0,6	0,2	0,12	3	0,36

L6	0,35	0,2	0,07	3	0,21
L7	0,3	0,2	0,06	3	0,18
L8	0,2	0,2	0,04	3	0,12
L9	0,35	0,2	0,07	3	0,21
L10	0,1	0,2	0,02	3	0,06
L11	0,1	0,2	0,02	3	0,06
L12	0,3	0,2	0,06	3	0,18
L13	0,1	0,2	0,02	3	0,06
L14	0,7	0,2	0,14	3	0,42
L15	0,1	0,2	0,02	3	0,06

Dari tabel di atas kita ambil satu kasus pada Line 1 (L1), λ pada L1 diperoleh dengan perkalian antara panjang saluran L1 dengan *failure rate* saluran udara sehingga diperoleh hasil $\lambda L1$ sebesar 0,01. Kemudian nilai UL1 diperoleh dengan perkalian $\lambda L1$ dengan nilai r (*repair time*), sehingga diperoleh hasil UL1 sebesar 0,03.

Tabel 7 Perhitungan nilai λ dan U TD

Peralatan	λ (fault/yr)	U (hr/yr)
TD1	5,208	15,722
TD2	5,208	15,722
TD3	5,208	15,722
TD4	5,208	15,722
TD5	5,208	15,722
TD6	5,208	15,722
TD7	5,208	15,722
TD8	5,208	15,722
TD9	5,208	15,722
TD10	5,208	15,722
TD11	5,208	15,722
TD12	5,208	15,722
TD13	5,208	15,722
TD14	5,208	15,722
TD15	5,208	15,722

Dari tabel di atas dapat kita ambil satu kasus pada TD1, λ_{TD1} diperoleh dari penjumlahan seluruh *failure rate* peralatan yang mempengaruhi TD1 tersebut berdasarkan mode kegagalan yang telah diidentifikasi sebelumnya.

Tabel 8 Perhitungan SAIFI dan SAIDI

Peralatan	λ (fault/yr)	U (hr/yr)	$\lambda \times N$	$U \times N$
TD1	5,208	15,722	380,184	1147,706
TD2	5,208	15,722	416,64	1257,76
TD3	5,208	15,722	562,464	1697,976
TD4	5,208	15,722	671,832	2028,138
TD5	5,208	15,722	937,44	2829,96
TD6	5,208	15,722	713,496	2153,914
TD7	5,208	15,722	531,216	1603,644
TD8	5,208	15,722	557,256	1682,254
TD9	5,208	15,722	317,688	959,042
TD10	5,208	15,722	171,864	518,826
TD11	5,208	15,722	374,976	1131,984
TD12	5,208	15,722	494,76	1493,59
TD13	5,208	15,722	395,808	1194,872
TD14	5,208	15,722	36,456	110,054
TD15	5,208	15,722	36,456	110,054

Berdasarkan tabel di diperoleh nilai SAIFI dan SAIDI pada feeder diatas dengan menggunakan persamaan 3 dan 4 dibawah ini.

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_i \times N_i}{\sum N} = \frac{17777,29}{3413} = 5,208699092 \text{ kali/tahun}$$

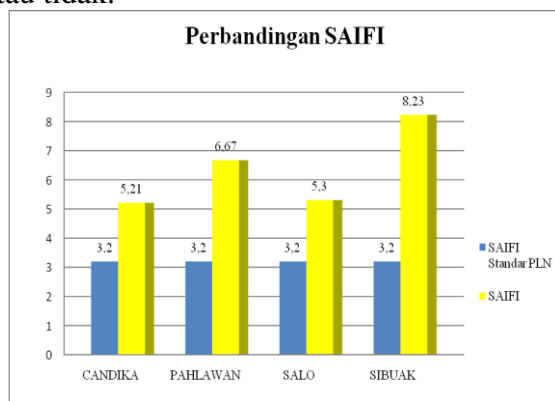
$$SAIDI = \frac{\sum U_i \times N_i}{\sum N} = \frac{53669,676}{3413} = 15,72507354 \text{ jam/tahun}$$

Dengan pembulatan angka, nilai SAIFI diperoleh sebesar 5,21 kali/tahun/pelanggan dan SAIDI sebesar 15,73 jam/tahun/pelanggan.

Tabel 9 Nilai SAIFI dan SAIDI setiap feeder

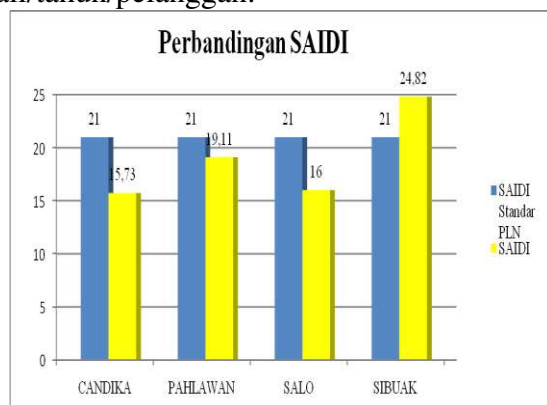
Feeder	SAIFI	SAIDI
CANDIKA	5,21	15,73
PAHLAWAN	6,67	19,11
SALO	5,30	16,00
SIBUAK	8,23	24,82

Setelah didapatkan hasil analisa tingkat keandalan jaringan distribusi pada Gardu Induk Bangkinang sesuai Tabel 4.9 diatas, maka kemudian dilakukan perbandingan hasil nilai SAIFI dan SAIDI yang dianalisa dengan standar yang ditetapkan oleh PT.PLN sesuai SPLN No 68-2 : 1986 [5] yaitu SAIFI = 3,2 kali/tahun/pelanggan dan SAIDI = 21 jam/tahun/pelanggan untuk mengetahui tingkat keandalan suatu *feeder* bisa dikatakan handal atau tidak.



Gambar 2 Perbandingan SAIFI

Nilai SAIFI terendah terdapat pada *feeder* Candika yakni sebesar 5,21 kali/tahun/pelanggan dan nilai SAIFI tertinggi terdapat pada *feeder* Sibuk yakni sebesar 8,23 kali/tahun/pelanggan.



Gambar 3 Perbandingan SAIDI

Dari keempat *feeder*, terdapat tiga *feeder* yang telah memenuhi indeks keandalan SAIDI PT.PLN yaitu *feeder* Candika, Pahlawan dan Salo. Sedangkan *feeder* Sibuk masih belum sesuai dengan indeks keandalan PT.PLN. Nilai SAIDI terendah terdapat pada *feeder* Candika sebesar 15,73 jam/tahun/pelanggan dan nilai

SAIDI tertinggi terdapat pada *feeder* Sibuk yakni sebesar 24,82 jam/tahun/pelanggan.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh pada *feeder* Candika diperoleh nilai SAIFI sebesar 5,21 kali/tahun/pelanggan dan nilai SAIDI sebesar 15,73 jam/tahun/pelanggan. Pada *feeder* Pahlawan diperoleh nilai SAIFI sebesar 6,67 kali/tahun/pelanggan dan nilai SAIDI sebesar 19,11 jam/tahun/pelanggan. Pada *feeder* Salo diperoleh nilai SAIFI sebesar 5,30 kali/tahun/pelanggan dan nilai SAIDI sebesar 16 jam/tahun/pelanggan. Pada *feeder* Sibuk diperoleh nilai SAIFI sebesar 8,23 kali/tahun/pelanggan dan nilai SAIDI sebesar 24,82 jam/tahun/pelanggan.
2. Nilai SAIFI tertinggi adalah pada *feeder* Sibuk yakni sebesar 8,23 kali/tahun/pelanggan dan terendah pada *feeder* Candika yakni sebesar 5,21 kali/tahun/pelanggan. Sedangkan untuk nilai SAIDI yang tertinggi adalah pada *feeder* Sibuk yakni sebesar 24,82 jam/tahun/pelanggan dan terendah terdapat pada *feeder* Candika dengan nilai SAIDI sebesar 15,73 jam/tahun/pelanggan.
3. Nilai SAIFI keempat *feeder* diatas belum ada yang memenuhi indeks keandalan standar PT.PLN. Sedangkan nilai SAIDI hanya pada *feeder* sibuk yang belum memenuhi standar PT.PLN.

4.2 Saran

Tingkat keandalan jaringan distribusi dapat ditingkatkan dengan pemasangan dan penempatan recloser yang optimal pada setiap *feeder* untuk mendapatkan tingkat keandalan yang lebih baik.

Perlunya melakukan perawatan secara teratur dan penggantian peralatan yang sudah usang untuk mengoptimalkan kinerja peralatan dalam penyaluran energi listrik kepada pelanggan.

DAFTAR PUSTAKA

- Billinton, R., & Allan, R.N. (1994). *Reliability Evaluation of Power Systems* (2nd ed.). New York : Plenum Press.
- Brown, R.E. (2008). *Electric Power Distribution Reliability* (2nd ed.). New York: CRC Press.
- Cholish dan Syukriadin. 2013. Analisa Jaringan Distribusi 20 kV Menggunakan FMEA pada PT. PLN Cabang Medan. *Seminar Nasional dan Expo Teknik Elektro 2013*.
- Goenadi, C., I.G.N.S. Hernanda, dan O. Penangsang. 2012. Analisis Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20 kV di PT PLN Distribusi Jawa Timur Kediri Dengan Metode Simulasi *Section Technique*. *Jurnal Teknik POMITS* 1(1).
- Gonen, Turan. 1986. “*Electric Power Distribution System Engineering*”, McGraw-Hill *International Edition*.
- Indra, S.R. 2015. Kajian Penambahan Recloser Baru Menggunakan Metode Algoritma Genetika Berdasarkan Keandalan Maksimum di 6DN Substation PT Chevron Pacific Indonesia. Skripsi Sarjana, Fakultas Teknik Universitas Riau, Indonesia.
- Nugroho, A.S., I.G.N.S. Hernanda, dan A. Soeprijanto. 2012. Studi Keandalan Sistem Distribusi 20 kV di Bengkulu Dengan Menggunakan Metode *Failure Mode Effect Analysis* FMEA). *Jurnal Teknik POMITS* 1(1).
- Prabowo, A.T., B. Winardi, S. Handoko. 2011. Analisis Keandalan Sistem Distribusi 20 kV pada Penyulang Pekalongan 8 dan 11. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Perdana, W.T., R.N. Hasanah, dan H.S. Dachlan. 2009. Evaluasi Keandalan Sistem Tenaga Listrik pada Jaringan Distribusi Primer Tipe Radial Gardu Induk Blimbing. *Jurnal EECCIS* Vol. III(1).
- Prima. 2015. Analisa Tingkat Keandalan Sistem Gardu Induk 13,8 kV 6DN Minas PT Chevron Pacific Indonesia dengan Metode *Section Technique*. Skripsi Sarjana, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Indonesia.
- SPLN No.59 : 1985, “Keandalan Pada Sistem Distribusi 20 kV dan 6 kV”, Perusahaan Listrik Negara, Jakarta.
- SPLN NO.68-2 : 1986, “Tingkat Jaminan Sistem Tenaga Listrik Bagian Dua: Sistem Distribusi”, Perusahaan Listrik Negara, Jakarta.
- Thayib, R. 2011. Perhitungan Indeks Keandalan Sistem Tenaga Listrik Interkoneksi Sumatra Bagian Selatan, Prosiding Seminar Nasional AvoER Ke-3, Palembang.
- Wicaksono, H.P., I.G.N.S. Hernanda, dan O. Penangsang. 2012. Analisis Keandalan Sistem Distribusi Menggunakan Program Analisis Kelistrikan Transien dan Metode *Section Technique*. *Jurnal Teknik ITS* 1(1).
- Yawantoro, E., B. Supradono, dan A. Solichan. 2012. Analisa Keandalan Sistem Tenaga Listrik Jawa Tengah dan DIY Periode Tahun 2009-2011. Universitas Muhammadiyah Semarang, Indonesia.